

УДК 630.18

С.Г. Махнева, Л.Г. Бабушкина
(Уральский государственный лесотехнический университет)

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ТЕХНОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

Исследована дифференциация сосновых насаждений по устойчивости к техногенному загрязнению. Рекомендуется анализ гаметофитных стадий при биомониторинге состояния процессов репродукции и техногенного загрязнения биосферы.

Успешное лесовосстановление является современной важнейшей экологической проблемой. Согласно данным многих авторов, лесовосстановление следует проводить с использованием форм, адаптированных к условиям произрастания (Яркин, 1990, Авров, 2000, Попивший, Денисенко, 2000, Родин, Родин, 2005 и др.). Однако вопрос о возможности аналогичного подхода при лесовосстановлении на техногенно загрязненных территориях остается по-прежнему открытым.

Для сосны обыкновенной успешность ее репродуктивной деятельности в природных условиях определяется полноценностью генеративной системы. Гаметофитные стадии являются наиболее уязвимым к техногенным воздействиям компонентом генеративной системы хвойных растений. Особенно опасно загрязнение среды мутагенами, в том числе хроническое их воздействие малыми дозами, которое приводит к возрастанию частоты генных мутаций и включению их в генофонд популяций (Кальченко, Спирин, 1989 и др.). Такие процессы могут привести к элиминации из насаждений ценных генотипов, снижению полиморфизма популяций и жизнеспособности особей. В связи с этим важное экологическое значение приобретает поиск таких биотипов, использование которых при лесовосстановлении обеспечило бы высокий уровень адаптивности, продуктивности и сохранения внутривидового биоразнообразия.

Целью работы было изучение особенностей фенотипической структуры насаждений сосны по показателям мужской генеративной системы; обоснование показателей, пригодных для индикации состояния мужского гаметофита; выявление устойчивых к техногенному загрязнению форм сосны.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили на постоянных пробных площадях (ППП) в насаждениях сосны обыкновенной Полевского лесхоза, произрастающих в градиенте техногенного загрязнения среды фторсодержащими аэрополлютантами. Исследуемые модельные деревья каждого насаждения представляют собой группу особей, сходных по возрастным, габитуальным и ре-

продуктивным показателям. Зоны загрязнения (импактная – ППП 1, буферная – ППП 2) выделены на основании обобщения данных о содержании фторидов в компонентах насаждений и поражения вегетативных и генеративных органов растений (Бабушкина и др., 1993). В качестве фонового (ППП К) выбрано насаждение сосны, произрастающее на территории с условно удовлетворительной экологической ситуацией вблизи г. Сысерти (Карта экологической ситуации, 1993).

Исследовали морфологический (фертильность пыльцы) и функциональные (частота прорастания пыльцы на искусственной питательной среде, длина пыльцевых трубок (ПТ) на третий и пятый дни опыта) показатели зрелой пыльцы сосны, а также развитие мицелия грибов порядка *Plecostales* на препаратах пыльцы на искусственной питательной среде. Состояние пыльцы изучали с помощью общепринятых (Паушева, 1970) и модифицированных нами методик (Махнева, Бабушкина, Зуева, 2003). Развитие мицелия на препаратах пыльцы оценивали по четырехбалльной шкале: 0 – отсутствие, 1 – слабый, 2 – средний, 4 – сильный уровни. Достоверность различий определяли по критериям Стьюдента и χ^2 (Лакин, 1990). Использовали также многомерные статистические методы (кластерный, дискриминантный). Расчеты выполняли на ПК с использованием пакета программ Statistica for Windows.

Результаты и их обсуждение

Проведенными нами ранее исследованиями было установлено, что насаждение из импактной зоны (сильного уровня техногенного загрязнения) характеризуется достоверно значимым снижением функциональных показателей пыльцы по сравнению с насаждениями из буферной зоны (среднего уровня техногенного загрязнения) и фоновых условий (Махнева, Бабушкина, Зуева, 2003). Рассмотрим внутригрупповую изменчивость показателей мужской генеративной системы сосны каждого насаждения. Для этого с применением кластерного анализа в каждом исследуемом насаждении сосны были выделены по три группы деревьев с условно высокими (первая группа), низкими (третья) и средними (вторая) для данного насаждения значениями показателей жизнеспособности пыльцы. Характеристика групп представлена в таблице.

Сравнительные исследования выявили достоверные различия между группами деревьев фонового насаждения по показателям фертильности и жизнеспособности пыльцы, а также по степени развития мицелия гриба на третий день опыта. Установлено возрастание степени развития мицелия гриба на препаратах пыльцы по мере снижения показателей жизнеспособности пыльцы.

В насаждении сосны в зоне сильного уровня загрязнения среды достоверные различия между всеми группами деревьев выявлены только по показателю длины пыльцевой трубки пыльцы во все периоды ее роста.

Деревья второй группы данного насаждения характеризуются высокими значениями показателей фертильности пыльцы и ее прорастания на питательной среде, сравнимыми с таковыми первой группы деревьев. Однако значения показателя длины пыльцевой трубки пыльцы деревьев второй группы достоверно ниже, а развития грибного мицелия – выше, чем деревьев первой группы. Таким образом, высокие значения показателей фертильности и прорастания пыльцы из зоны сильного уровня техногенного загрязнения не могут служить надежными критериями адаптации мужской генеративной системы сосны и качества пыльцы. Степень развития мицелия гриба на препаратах пыльцы деревьев первой группы ППП I меньше в 1,7 и 1,4 раза на третий день и в 1,1 раза на пятый день по сравнению с другими группами насаждения. Третья группа деревьев ППП I характеризуется достоверно более низкими по сравнению с другими группами показателями фертильности и жизнеспособности пыльцы. Степень развития грибного мицелия на препаратах пыльцы деревьев третьей группы наибольшая в данном насаждении в течение всего периода прорастания пыльцы.

В насаждении сосны обыкновенной в буферной зоне все группы деревьев различаются по четырем показателям – прорастанию пыльцы на питательной среде, длине пыльцевой трубки на третий и пятый день опыта и степени развития грибного мицелия на пятый день опыта. Приведенные данные свидетельствуют о четкой дифференциации деревьев данного насаждения по устойчивости мужской генеративной системы к техногенному загрязнению.

Выявленная неоднородность насаждений сосны по показателям мужской генеративной системы свидетельствует о различиях в их адаптационной способности к экологическим условиям произрастания. Возрастание показателей жизнеспособности пыльцы и фунгицидных свойств пыльцы и пыльцевых трубок пыльцы деревьев первых групп всех насаждений относительно значений показателей других групп позволяет сделать вывод об адаптации мужской генеративной системы деревьев первых групп к действующим в насаждениях уровням техногенного загрязнения. Напротив, деревья третьих групп всех насаждений характеризуются наименьшими значениями исследуемых показателей, что свидетельствует об уязвимости их мужской генеративной системы к экологическим условиям окружающей природной среды.

Отсутствуют различия между насаждениями по распределению модельных деревьев по группам: $\chi^2=0,32-2,54$ при $\chi^2_{\text{табл.}}=5,99$, $k=2$, $p<0,05$ (см. таблицу). Вторая группа является наиболее многочисленной. Значения показателей мужской генеративной системы деревьев второй группы близки к их среднепопуляционным значениям.

Значения показателей мужской генеративной системы выделенных групп деревьев и достоверность различий между ними

Показатель	Группа	Зона техногенного загрязнения		
		импактная	буферная	фоновая
Потенциальная фертильность пыльцы, %	1	82,58±3,16*	84,99±3,33^	92,54±0,84 _{2,3}
	2	82,19±1,60*	84,89±1,70	88,81±1,33 _{1,3}
	3	59,90±13,78	77,50±11,51	77,89±4,66 _{1,2}
Частота прорастания пыльцы, %	1	62,66±5,50* ⁺ ₃	84,15±3,10 _{2,3}	87,44±1,95 ₃
	2	59,23±4,78* ⁺ ₃	73,35±3,31^ _{1,3}	81,92±2,24 ₃
	3	26,05±12,37* _{1,2}	47,67±8,31 _{1,2}	62,47±4,37 ₂
Длина ПТ (3-й день), мкм	1	171,3±5,5* ⁺ _{2,3}	199,0±4,0 _{2,3}	201,8±6,7 _{2,3}
	2	130,3±4,5* ⁺ _{1,3}	153,7±4,2 _{1,3}	165,5±6,7 ₁
	3	55,8±19,3* ⁺ _{1,2}	107,3±3,4^ _{1,2}	149,9±7,0
Длина ПТ (5-й день), мкм	1	222,2±9,0* ⁺ _{2,3}	265,3±6,3^ _{2,3}	300,4±14,1 _{2,3}
	2	166,9±6,5* ⁺ _{1,3}	209,7±4,4^ _{1,3}	242,9±5,8 _{1,3}
	3	77,3±28,2* _{1,2}	141,0±11,8^ _{1,2}	175,7±6,4 _{1,2}
Развитие гриба (3-й день), баллы	1	2,11±0,31* ⁺ ₃	1,14±0,14	1,00±0 _{2,3}
	2	2,94±0,27* ⁺	1,70±0,30	1,46±0,18 _{1,3}
	3	3,50±0,29 ₁	2,00±1,19	2,56±0,41 _{1,2}
Развитие гриба (5-й день), баллы	1	3,56±0,24* ⁺	1,86±0,12 _{2,3}	2,38±0,33 ₃
	2	3,75±0,19* ⁺	2,70±0,37 _{1,3}	2,85±0,19
	3	3,75±0,25	4,00±0 _{1,2}	3,44±0,34 ₁
Частота деревьев, %	1	31,0	33,3	20,0
	2	55,2	47,6	50,0
	3	13,8	19,1	30,3

Примечание. Нижними индексами отмечены номера групп, различия с которыми достоверно значимы ($p < 0,05$) (для сравнения групп внутри насаждений). Символами (* ^) отмечены достоверные различия ($p < 0,05$) между одноименными группами насаждений: * ППП 1 и ППП К, + ППП 1 и ППП 2, ^ ППП 2 и ППП К.

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о различиях между одноименными группами разных насаждений. Так, значения показателей жизнеспособности пыльцы деревьев первой группы из импактной зоны техногенного загрязнения по величине соответствуют значениям аналогичных показателей деревьев второй и третьей групп фонового насаждения. Таким образом, в насаждении в зоне сильного уровня техногенного загрязнения фактически отсутствует группа деревьев с высокими показателями качества пыльцы. В то же время на ППП 1 выявлена группа деревьев (третья) с очень низкими значениями исследуемых показателей, для которой не найдено аналогов в других насаждениях сосны. Значения исследуемых

двух показателей пыльца насаждения из зоны среднего уровня загрязнения также ниже, чем в фоновом насаждении, но различия между этими насаждениями достоверны по малому числу показателей. Все группы деревьев сосны из зоны сильного уровня техногенного загрязнения отличаются меньшей устойчивостью к развитию гриба на препаратах пыльцы, при сравнении с аналогичными группами деревьев других насаждений.

Результаты исследования мужской генеративной системы сосны свидетельствуют о том, что, несмотря на постоянный отбор мужских гаметофитов в процессе микрогаметогенеза в зоне сильного уровня техногенного загрязнения, интенсивность элиминации мужских гаметофитов на каждой последующей стадии их развития остается по-прежнему высокой. На основании приведенных данных можно предположить, что в насаждении сосны в импактной зоне техногенного загрязнения имеет место явление, названное Ю.П. Алтуховым (1989) неблагоприятным генетическим процессом. Вслед за автором мы подразумеваем под ним такой тип передачи генетической информации в поколениях, при котором происходит увеличение груза наследственной отягощенности в популяции, вынужденной адаптироваться к неблагоприятной среде.

Насаждение сосны в буферной зоне при относительно высоком уровне содержания фторидов в различных компонентах экосистемы, в том числе и в ассимиляционном аппарате сосны, характеризуется высокими значениями структурных и функциональных показателей пыльцы, сравнимыми с таковыми фонового насаждения. Приведенные факты позволяют говорить об адаптивных перестройках в мужской генеративной системе сосны зоны среднего уровня загрязнения на основе мутаций и преадаптаций, которые, вероятно, способствуют компенсации неблагоприятных воздействий загрязняющих веществ.

Приведенные данные свидетельствуют о дифференциации насаждений сосны на группы по состоянию мужской генеративной системы вне зависимости от уровня техногенного загрязнения окружающей природной среды аэрополлютантами. Диагностику состояния мужской генеративной системы сосны и выделение устойчивых к экологическим условиям форм следует проводить с учетом показателя длины пыльцевой трубки пыльцы на искусственной питательной среде, имеющего наибольшее дифференцирующее значение при различных уровнях техногенного загрязнения.

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать для генетико-селекционных исследований и лесовосстановления в зонах продолжающегося техногенного загрязнения адаптированные формы сосны из зоны среднего уровня техногенного загрязнения. Однако использование для лесовосстановления семенного материала из зон техногенного загрязнения требует глубокого и всестороннего анализа возможных последствий. Возрастание в генеративной системе таких насаждений уровня генетического груза и мутационной компоненты, в частности в дальней-

шем, приведет к элиминации потомства на разных стадиях онтогенеза, что может значительно увеличить затраты на лесовосстановление на загрязненных территориях и снизить экологическую эффективность таких насаждений. Кроме того, повсеместное использование семян адаптированных к техногенному загрязнению форм древесных растений для лесовосстановления может привести к расширению площадей, занятых лесами со специфической устойчивостью, исчезновению ценного генофонда, снижению внутривидового разнообразия лесообразующих пород. Анализ гаметофитных стадий должен стать обязательным компонентом биомониторинга состояния процессов репродукции и техногенного загрязнения биосферы.

Библиографический список

- Авров Ф.Д. Восстановление устойчивых лесных насаждений // Лесн. хоз-во. 2000. № 2. С. 33-35.
- Алтухов Ю. П. Генетические процессы в популяциях. М.: Наука, 1989. 328 с.
- Бабушкина Л.Г., Зуева Г.В., Луганский Н.А. и др. Экологическое состояние лесных насаждений в зоне фторсодержащих промышленных выбросов // Экология. 1993. № 1. С. 26-35.
- Карта экологической ситуации промышленных районов Свердловской области. Масштаб 1:500000. М.: Федеральная служба геодезии и картографии России. Роскартография, 1993.
- Кальченко В.А., Спирин Д.А. Генетические эффекты в облучаемых популяциях сосны обыкновенной // Эколого-генетические последствия воздействия на окружающую среду антропогенных факторов: Тез. докл. 2 Всесоюз. коорд. совещ. 21-23 марта 1989 г. Сыктывкар, 1989. С. 64-65.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
- Махнева С.Г., Бабушкина Л.Г., Зуева Г.В. Состояние мужской генеративной сферы сосны обыкновенной при техногенном загрязнении среды. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 154 с.
- Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Колос, 1970. 255 с.
- Попивший И.И., Денисенко С.В. Сохранение ценного генофонда местных биотипов ели европейской // Лесн. хоз-во. 2000. № 4. С. 31-32.
- Родин С.А., Родин А.Р. Теоретические и практические аспекты повышения результативности искусственного выращивания леса // Лесн. хоз-во. 2005. № 1. С. 36-39.
- Яркин В.П. Долгосрочная программа создания постоянной лесосеменной базы на селекционной основе // Лесн. хоз-во. 1990. № 11. С. 34-36.